

9025 食塩摂取と運動に関する栄養生理学的研究

下村 吉治(筑波大学)

要旨

食塩摂取が生体に及ぼす影響については、多くの研究がなされているが、それに対する運動の影響については、ほとんど検討されていない。本研究では、低塩食もしくは高塩食摂取ラットにおける尿中ミネラル排泄、および肝臓と筋グリコーゲン含量に及ぼす運動の影響を検討した。さらに、日中ジュニア・スポーツ選手の食塩を含めた栄養摂取量に関する調査を行った。

ラットを低塩食もしくは高塩食を与えて26日間飼育し、その期間中後半にそれぞれの群の約半数のラットに回転ケージを用いた自発運動をさせた。運動期間終了後の2日間尿を採取し、尿中ミネラル排泄量を測定した。その後、屠殺して肝臓とヒラメ筋を採取し、それぞれのグリコーゲン含量を測定した。従来の報告と一致して、高塩食摂取により尿中へのカルシウム排泄が促進されたが、この高塩食の効果は運動負荷により抑制されることが本研究により明かになった。すなわち、運動は体内でのカルシウム利用を促進して、高塩食摂取による尿中へのカルシウム排泄を抑制した可能性が考えられる。ラットの自発運動は、わずかではあるが低塩食群より高塩食群で多い傾向にあった。運動の持久力と関係する肝臓と筋グリコーゲン含量を測定したところ、肝臓では、高塩食群においてのみ運動負荷によりグリコーゲン含量が増加する傾向にあった。ヒラメ筋では、非運動条件のラットにおいてのみ高塩食群でグリコーゲン含量が増加する傾向にあつた。しかし、これらの結果は明確なものではないのでさらに検討する必要があるが、組織のグリコーゲン代謝に食塩摂取量が影響する可能性を示唆している。

中国を代表するジュニア選手と我国のインターハイおよび他の全国大会の優勝校または上位入賞校における陸上競技とバスケットボール選手を対象として、栄養の調査・分析、ならびに自記選択式アンケートによりトレーニングと休養に関する調査を行なったところ、中国選手にくらべて、日本選手は栄養摂取量、ウェイトトレーニング量および休養などの適切な確保の点で劣っていた。このことから、日本選手ではグリコーゲンの維持・回復、筋肉・骨づくり、酸素運搬、代謝機能の調節などの働きが低下し、円滑な身体・コンディショニングづくりが妨げられていると示唆された。また、日本選手に比べて中国選手は塩分摂取量が著しく少なく(およそ1/3)、このことが如何なる生理的状況の違いを生み出しているかは興味を持たれるところであり、今後さらに検討が必要であると考えられる。

9025 食塩摂取と運動に関する栄養生理学的研究

下村 吉治 (筑波大学)

【目的】

身体活動、特に運動場面における塩分摂取の必要性は古くから認められており、運動中あるいは運動後の塩分摂取は、いわゆる“脱水”を防ぐために有効であることがわかっている。しかし、塩分摂取量と運動パフォーマンスあるいは運動後のグリコーゲン再補充との関連については十分検討されていない。また、食塩摂取量の増加は、尿中へのカルシウム排泄を増進することが知られているが、生体内のカルシウム代謝に大きな影響を与える運動が、この尿中へのカルシウム排泄に及ぼす影響についてはわかっていない。さらに、運動トレーニングをしているスポーツ選手は高カロリー食を摂っているが、食塩摂取量も多いと考えられる。しかし、その実態については、ほとんど報告がみられず、また、摂取された食塩の生理的意義についても不明な点が多い。

そこで本研究では、1) 食塩摂取が肝臓と筋グリコーゲン含量に及ぼす影響、および高食塩食摂取による尿中へのカルシウム排泄の促進に対する運動の効果(研究Ⅰ)、ならびに2) 運動選手の食塩を含めた栄養摂取量に関する調査(研究Ⅱ)について研究を進め、食塩摂取と運動との関連を検討した。

研究Ⅰ；尿中ミネラル排泄、および肝臓と筋グリコーゲン含量に及ぼす運動の影響

1. 実験方法

6週齢の Sprague-Dawley 系雄ラット26匹(日本クレア, 東京)を、低塩食・非運動群(6匹)、低塩食・運動群(7匹)、高塩食・非運動群(6匹)、および高塩食・運動群(7匹)の4群に分けた。飼育室は、07:00-19:00時を明期とし、19:00-07:00時を暗期とする12時間の明暗サイクルとし、温度は 22 ± 2 ℃、湿度は 60 ± 10 %に調整した。全てのラットにそれぞれの食餌を、1日2食制の meal-feeding 法(07:00-09:00時と19:00-21:00時に摂食)により同量ずつ(約18g/日)与えた。最初の4日間は、市販粉末飼料(CE-2, 日本クレア, 東京)を与え、続く実験期間(26日)は、高塩もしくは

低塩の実験食（Table 1）をそれぞれの群に与えて代謝ケージで個別飼育した。実験食に切り替えて9日後に、各実験食群のラットをさらに運動群と非運動群に分け、運動群はその後の14日間を21:00-07:00時の間だけ回転カゴ付きケージで個別飼育し、自発運動をさせた。水は24時間自由に摂取させた。運動期間に続く2日間は、運動群に運動を負荷させずに全てのラットの24時間尿を採取した。尿は体積を測定後濾過し、一部を分析まで冷蔵保存した。実験最終日（30日目）の10:00時にすべてのラットを断頭屠殺した。血液を採取し血清を分離して、一部を分析まで-20℃に凍結保存した。肝臓、ヒラメ筋を摘出後秤量し、それぞれの組織の一部を分析まで-80℃に凍結保存した。

肝臓とヒラメ筋のグリコーゲンをLoらの方法⁽¹⁾で、血清グルコースはABTS酵素法⁽²⁾で定量分析した。尿のミネラルは、尿試料を蒸留水で100倍希釈した後、誘導結合プラズマ（ICP）発光分析法⁽³⁾で測定した。血清のミネラルは、血清試料の有機物を湿式灰化⁽³⁾により酸分解した後、ICP発光分析法で分析した。

2. 結果

2.1. 体重および組織重量（Table 2）

実験最終日のラットの体重は、低塩食群に比べて高塩食群でわずかに軽い傾向にあったが有意な差はなかった。肝臓とヒラメ筋重量も各群間で差はなかった。

2.2. ラットの運動量（Fig. 1）

ラットの1日当りの運動量は、高塩食および低塩食群ともに漸増した。両食群間に有意な差はなかったが、測定期間の後半において、高塩食群が低塩食群よりも多い傾向を示した。

2.3. 尿中へのミネラル排泄（Fig. 2）

尿中ナトリウム排泄量は、低塩食群に比較して高塩食群で30-60倍も多かったが、それに対する運動の影響はほとんどなかった。

尿中カルシウム排泄量は、非運動の条件において、低塩食群よりも高塩食群で有意に増加した。しかし、運動を負荷した条件におけるカルシウム排泄は、高塩食群で有意な増加は認められなかった。

尿中リンとカリウム排泄量は、低塩食群よりも高塩食群でわずかに増加する傾向にあったが、運動による明確な影響は認められなかった。

2.4. 血清ミネラルとグルコース濃度（Table 3）

血清ミネラルおよびグルコース濃度は、どの群間にも差は認められなかった。

2.5. 肝臓およびヒラメ筋のグリコーゲン含量（Fig. 3）

低塩食群における肝臓グリコーゲン含量は、運動による影響を受けなかったが、高塩食群では、運動により増加する傾向を示した（ $0.1 > p > 0.05$ ）

ヒラメ筋のグリコーゲン含量は、低塩食群で運動により増加する傾向にあり、また非運動条件においては、低塩食群よりも高塩食群で増加する傾向にあったが、いずれも有意差はなかった。

3. 考察

高塩食摂取により尿中へのカルシウム排泄が促進されることが報告されている⁽⁴⁻⁷⁾。本研究においてもこの所見は確認された。しかし、自発運動させたラットでは、高塩食を摂取させても、尿中カルシウム排泄が有意に増加しなかったことより、運動は体内でのカルシウムの利用を促進して、尿中へのカルシウム排泄を抑制する可能性が考えられる。この考えを支持する所見として、運動による体内でのカルシウム利用率の上昇が報告されている⁽⁸⁻¹⁰⁾。

本研究におけるラットの自発運動量は、高塩食摂取のラットで有意ではないが多い傾向にあった。この結果は、高塩食がラットの自発運動を増加させる可能性を示唆している。運動の持久力と肝臓および筋グリコーゲン含量は相関することが知られているので、肝臓と筋のグリコーゲン含量を測定したところ、非運動の条件におけるラットでは、高塩食摂取によりヒラメ筋グリコーゲン含量がわずかに増加する傾向にあったが、運動負荷したラットの筋グリコーゲン含量には、両食群間で差は認められなかった。一方、肝臓のグリコーゲン含量は、運動を負荷したラットにおいて、高塩食群で増加する傾向を示した。本研究では尿中のミネラル排泄を分析するために、運動期間終了2日後にラットを屠殺して肝臓と筋組織を採取し、グリコーゲンを分析した。組織グリコーゲン含量は、運動期間中により大きく変動している可能性があるため、組織グリコーゲンに対する食塩摂取の影響を正確に把握するためには、さらに詳細な検討が必要であると考えられる。

本研究において、高塩食摂取により促進される尿中へのカルシウム排泄は、運動により抑制されること、また、組織のグリコーゲン代謝に食塩摂取量が影響する可能性が示唆された。これらの所見は、生体に及ぼす食塩の作用が運動により大きくかわることを示唆している。

研究Ⅱ；日中ジュニア・スポーツ選手の栄養、トレーニングおよび休養に関する研究

1. 実験方法

中国を代表するジュニア選手（北京体育学院附属運動学校と上海体育運動学校）と我国のインターハイおよび他の全国大会の優勝校または上位入賞校における陸上競技とバスケ

ットボール選手を対象とした。平日の3日間、概ね重量法（秤量と目安量の併用）を用い栄養の調査・分析、ならびに自記選択式アンケートによりトレーニングと休養に関する調査を行なった。なお、各人の栄養所要量は実質的運動時間が2時間程度であったため、生活活動強度IV（重い）のレベルを採用し、第4次改定「日本人の栄養所要量」に基づき算定した。

2. 結果

2.1. 食品別摂取量をみると中国は魚介類、肉類、卵類、牛乳・乳製品、野菜類、菓子類および砂糖・甘味料が日本よりも多く、一方、穀物、芋・デンプン類、豆類および嗜好飲料類は日本が中国よりも多かった（Table 4）。

2.2. 中国においてはCa、Fe、V、AおよびV、Cの場合90%以上の者が、またエネルギーとたん白質ではそれぞれ3分の2および半数がIV所要量のレベルを越えていた。しかし、日本ではV、CとV、Aを除き他の栄養項目のIV所要量を満たす者の割合は0-40%と著しく少なかった。特に、エネルギーとたん白質不足が顕著であった（Table 5およびFig. 4）。また、Na、Kおよび食塩摂取量は、日本がそれぞれ4203-5087mg、2376-2657mg および10.5-12.7g、中国がそれぞれ1592-1837mg、3334-4022mg、3.3-3.7gと前者が後者に比べて著しく高かった（Table 5）。

2.3. トレーニング計画が「ある」と答えた者の割合は、「年間」で中国79%、日本54%、「月間」で中国80%、日本21%、「週間」で中国85%、日本40%であった。ウェイトトレーニングを準備期で週3-4日以上行なう者の割合は中国70%、日本55%、また試合期に週1-2日実施する者は中国90%、日本37%であった。準備期において休養を「定期的にとる」者の割合は中国80%、日本48%であった。スランプの克服法に関して、日本では52%の者が「猛練習で克服する」と答えているが、中国でのこの値は23%であり、「別のスポーツを楽しむ」とする者が44%（日本では4%）もみられた。

2.4. 練習時間と自習時間は日中間でほとんど差がなかった。自由時間は約2時間、また睡眠時間は約2時間半も中国が日本よりも長かった。

3. 考察

中国選手にくらべて、日本選手は栄養摂取量、ウェイトトレーニング量および休養などの適切な確保の点で劣っている。このことから、日本選手ではグリコーゲンの維持・回復、筋肉・骨づくり、酸素運搬、代謝機能の調節などの働きが低下し、円滑な身体・コンディショニングづくりが妨げられていると示唆される。また、両国間の塩分摂取量に大きな違いがあるが、これららの生理的意義については、今後さらに検討が必要であると考えられ

る。

参考文献

- 1) Lo, S., Russell, J. C., and Taylor, A. W. (1970); Determination of glycogen in small tissue sample. J. Appl. Physiol. 28, 234-236.
- 2) Burdun, R. T., and Vanknippenberg, P. H., eds. (1986); Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology. 100-111.
- 3) 原口紘, 久保田正明, 森田昌敏, 宮崎章, 不破敬一郎, 古田直紀 (1988); I C P 発光分析法. 共立出版, 180-210.
- 4) Goulding, A. (1980); Mineral Electrolyte Metab. 4, 203-208.
- 5) Muldowney, F. P., Freaney, R., and Moloney, M. F. (1982); Kidney Int. 22, 292-296.
- 6) Breslau, N. A., McGuire, J. L., Zerwekh, J. E. and Pak, C. Y. C. (1982); J. Clin. Endocrinol. Metab. 55, 369-373.
- 7) Goulding, A. and Campbell, D. R. (1984); Mineral Electrolyte Metab. 10, 58-62.
- 8) LeBlanc, A. D., Evans, H. J., Johnson, P. C., and Jhingran, S. (1983); J. Appl. Physiol. 55(1), 201-204.
- 9) Yeh, J. K., Aloia, J. F., and Yasumura, S. (1989); Am. J. Physiol. 256, E1-E6.
- 10) Yeh, J. K., and Aloia, J. F. (1990); Am. J. Physiol. 258, E263-E268.

Table 1. The composition of experimental diets

	Low salt diet	High salt diet
	(g/kg diet)	
Corn starch	400	400
Sucrose	177.2	127.7
Casein	250	250
Soybean oil	50	50
Cellulose	50	50
Vitamin mixture *	12.5	12.5
Mineral mixture *	60.3	109.8
NaCl	0.5	50

* Purchased from CLEA Japan.

Table 2. Body weight, and liver and soleus muscle weights

	Low salt diet		High salt diet	
	Sedentary	Exercise	Sedentary	Exercise
Body weight (g)				
Initial	202 ± 5	203 ± 8	205 ± 5	202 ± 6
Final	344 ± 24	323 ± 23	333 ± 11	312 ± 17
Liver weight (g)	12.2 ± 0.6	11.9 ± 0.9	11.5 ± 0.8	11.1 ± 0.4
Soleus muscle weight (mg)	281 ± 33	275 ± 22	247 ± 31	261 ± 24

Values are mean ± SD for 6-7 rats.

Table 3. Serum mineral and glucose concentrations

	Low salt diet		High salt diet	
	Sedentary	Exercise	Sedentary	Exercise
Na (mg/ml)	3.4 ± 0.5	3.3 ± 0.5	3.2 ± 0.4	3.5 ± 0.3
Ca (ug/ml)	99 ± 9	100 ± 14	104 ± 11	100 ± 12
P (ug/ml)	138 ± 14	148 ± 10	150 ± 13	138 ± 17
Mg (ug/ml)	19 ± 2	19 ± 3	17 ± 4	17 ± 2
K (ug/ml)	124 ± 14	137 ± 20	127 ± 9	156 ± 64
Glucose (mg/dl)	106 ± 9	107 ± 15	109 ± 14	104 ± 14

Values are means ± SD for 6-7 rats.

Table 4. Daily intake of different food groups.

	Japanese		Chinese	
	Male	Female	Male	Female
Cereals	716.2±31.5	455.7±13.8	357.7±10.9 ^a	267.8±10.1 ^c
Potatoes & Starches	35.5±4.6	38.7±4.5	19.2±2.1 ^a	14.4±1.5 ^c
Sugars & Sweeteners	8.3±0.9	8.5±1.0	50.0±2.9 ^a	41.7±3.4 ^c
Confectioneries	63.3±10.8	37.6±5.5	121.2±13.5 ^a	169.4±16.7 ^c
Fats & Oils	27.9±1.6	23.5±1.6	28.8±0.8	23.9±1.1
Pulses	43.4±6.2	44.5±5.1		
Fishes & Shellfishes	62.4±5.3	59.7±10.0	187.8±21.8 ^a	149.2±18.5 ^c
Meats	141.8±9.1	101.1±6.2	337.8±18.2 ^a	265.3±10.4 ^c
Eggs	77.5±6.7	83.4±6.4	109.5±2.9 ^a	85.8±3.8
Milk & Dairy products	258.6±37.5	183.4±30.2	609.1±51.7 ^a	537.9±43.4 ^c
Vegetables				
Green & Yellow	76.3±9.8	80.1±7.2	72.0±5.3	51.6±3.8 ^c
Others	111.7±8.4	118.7±8.1	302.5±9.4 ^a	228.6±10.3 ^c
Fruits	58.0±9.6	117.0±17.5	78.9±8.1	102.7±11.0
Beverages	249.3±38.4	51.9±13.0	67.3±13.0 ^a	55.3±9.7

Values are means ± SE. ^aSignificantly different from Japanese males, P<0.01. ^cSignificantly different from Japanese females, P<0.01.

Table 5. Daily nutrients intake in adolescent Japanese and Chinese athletes.

	Japanese		Chinese	
	Male	Female	Male	Female
Energy (kcal)				
Total	2698 ± 68	1996 ± 56	4487 ± 144 ^a	3809 ± 92 ^c
per kg BW	43.0 ± 1.2	37.9 ± 1.2	67.1 ± 1.7 ^a	66.3 ± 1.8 ^c
Carbohydrate (g)				
Total	358 ± 10	248 ± 7	499 ± 12 ^a	426 ± 10 ^c
per kg BW	5.68 ± 0.16	4.70 ± 0.15	7.54 ± 0.18 ^a	7.45 ± 0.22 ^c
Protein (g)				
Total	98.3 ± 3.3	75.6 ± 2.7	154 ± 8 ^a	125 ± 5 ^c
per kg BW	1.57 ± 0.06	1.44 ± 0.06	2.25 ± 0.09 ^a	2.17 ± 0.09 ^c
Percent of total energy intake				
Protein	14.2 ± 0.3	14.9 ± 0.4	12.7 ± 0.3 ^a	12.4 ± 0.3 ^c
Fat	30.4 ± 0.7	32.7 ± 0.8	40.9 ± 0.5 ^a	41.7 ± 0.5 ^c
Carbohydrate	53.7 ± 0.8	50.7 ± 0.9	44.8 ± 0.6 ^a	44.4 ± 0.6 ^c
Calcium (mg)	687 ± 61	485 ± 37	1998 ± 147 ^a	1721 ± 124 ^c
Iron (mg)	12.1 ± 0.6	9.9 ± 0.4	36.7 ± 1.0 ^a	31.5 ± 1.4 ^c
Sodium (mg)	5087 ± 225	4203 ± 209	1837 ± 86 ^a	1592 ± 70 ^c
Potassium (mg)	2657 ± 105	2376 ± 119	4022 ± 187 ^a	3334 ± 145 ^c
Sodium chloride (g)	12.7 ± 0.6	10.5 ± 0.5	3.70 ± 0.18 ^a	3.30 ± 0.15 ^c
Vitamin				
A (IU)	2740 ± 278	2866 ± 264	3705 ± 132 ^a	3154 ± 127
B1 (mg)	1.52 ± 0.08	1.21 ± 0.08	2.20 ± 0.11 ^a	1.77 ± 0.08 ^c
B2 (mg)	1.89 ± 0.13	1.54 ± 0.08	2.06 ± 0.11	1.80 ± 0.08 ^b
C (mg)	121 ± 12	95 ± 10	183 ± 9 ^a	139 ± 9 ^c

Values are means ± SE. Significantly different from Japanese males, $P < 0.01$. bcSignificantly different from Japanese females, $P < 0.05$, and $P < 0.01$, respectively.

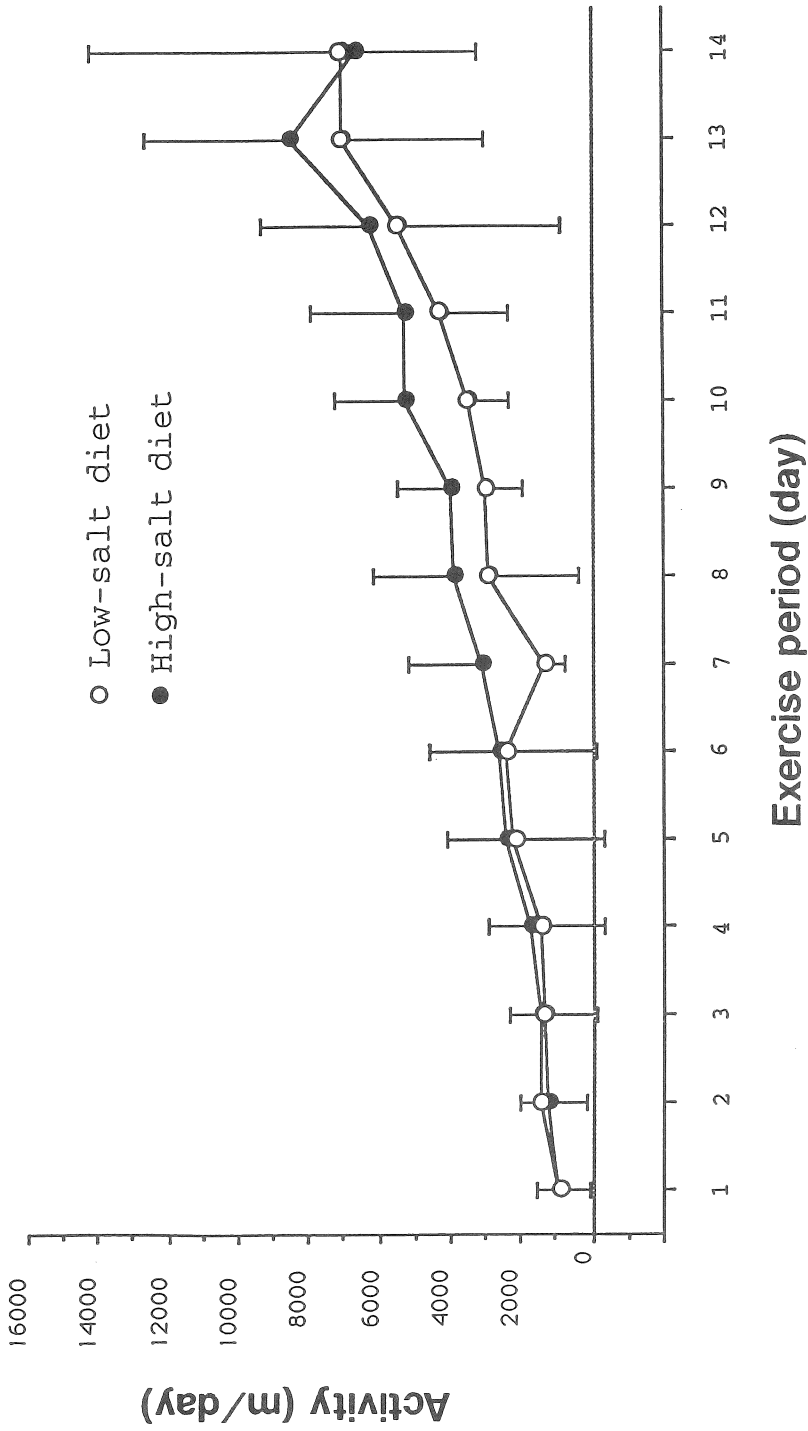
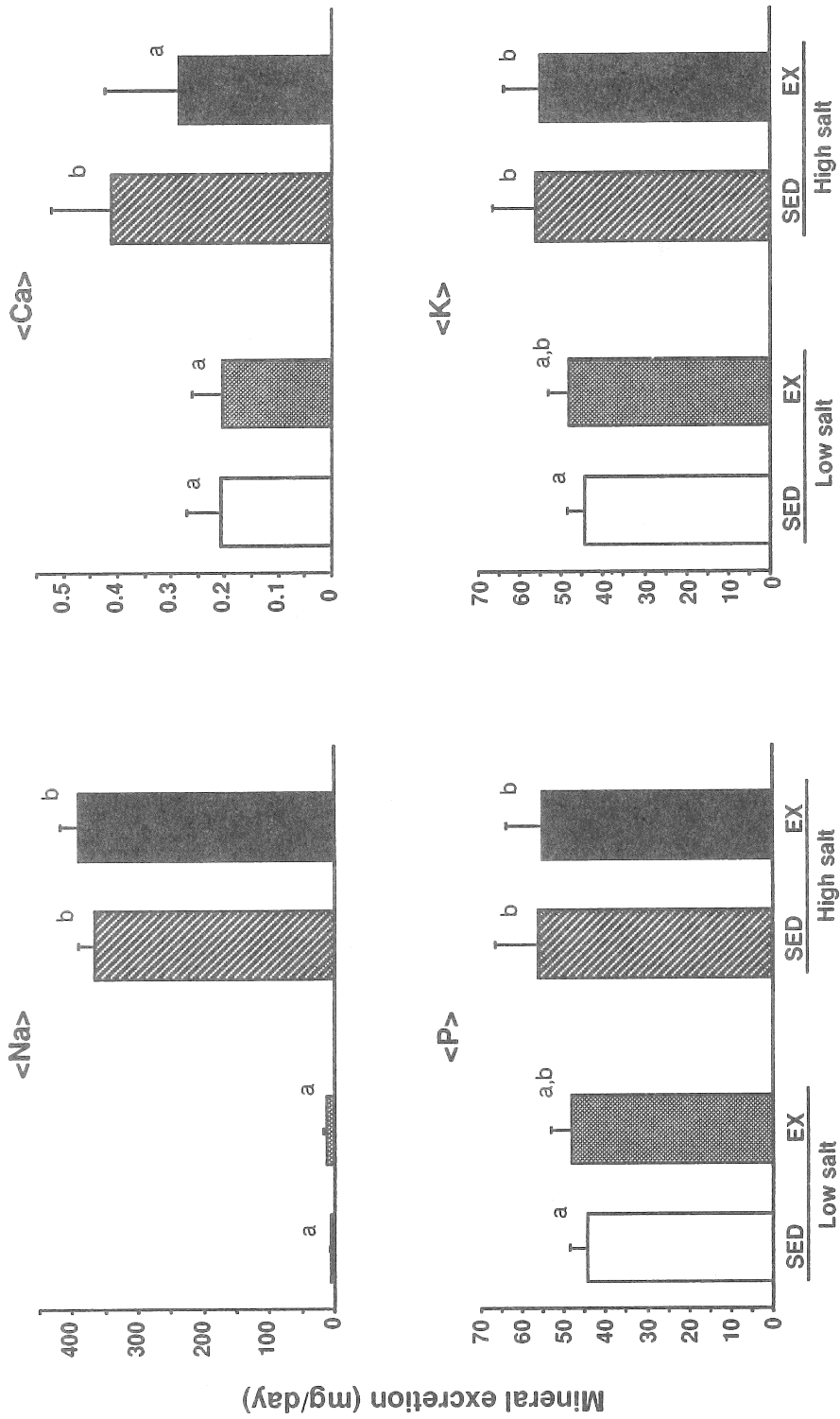
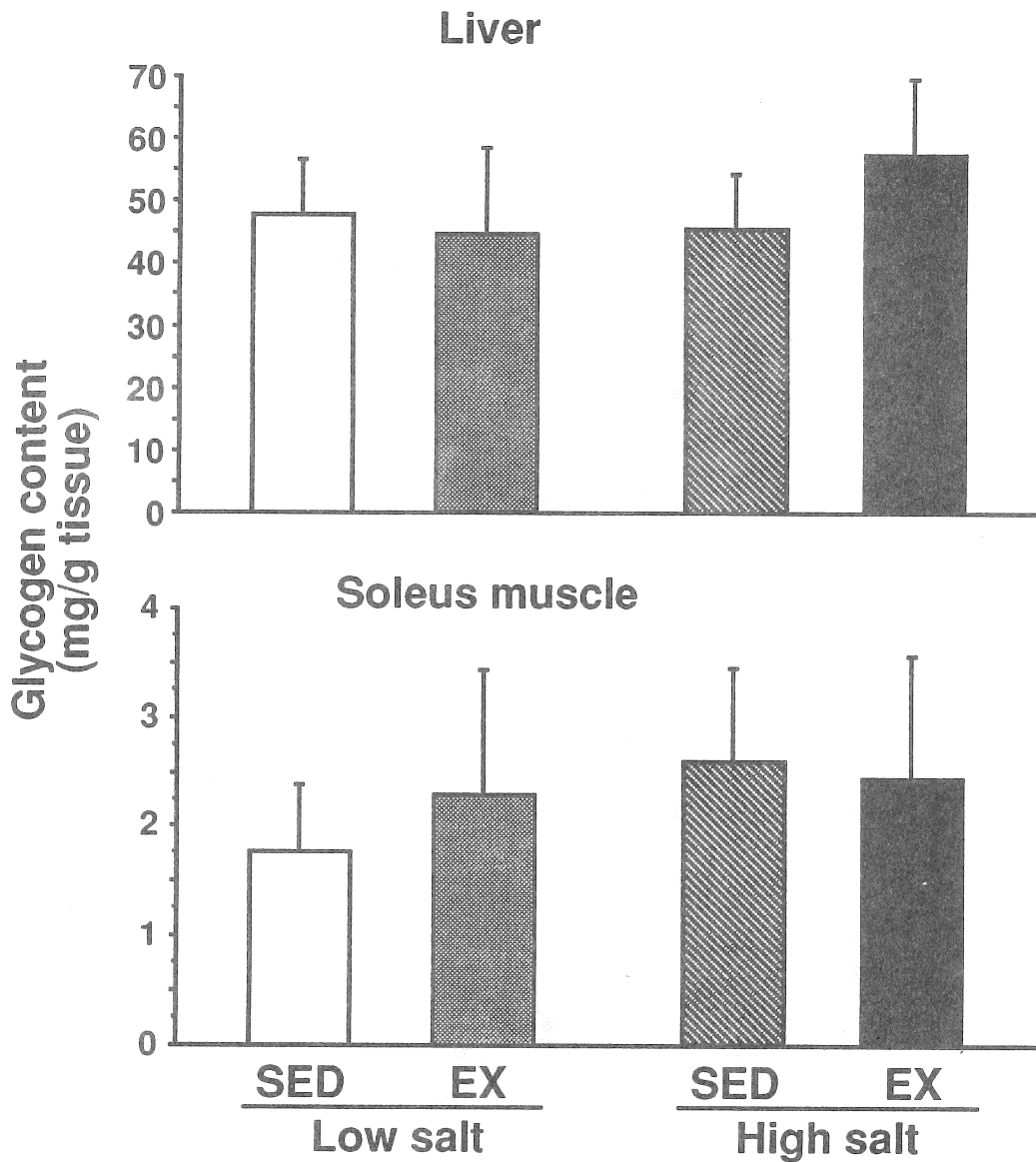


Fig. 1 Running activity
Each point is a mean value with SE.



Values are means \pm SD for 6-7 rats. Means not followed by the same letter are significantly different ($p < 0.05$).

Fig. 2 Mineral excretion in urine



Values are means \pm SD for 6-7 rats.

Fig. 3 Glycogen contents in liver and soleus muscle.

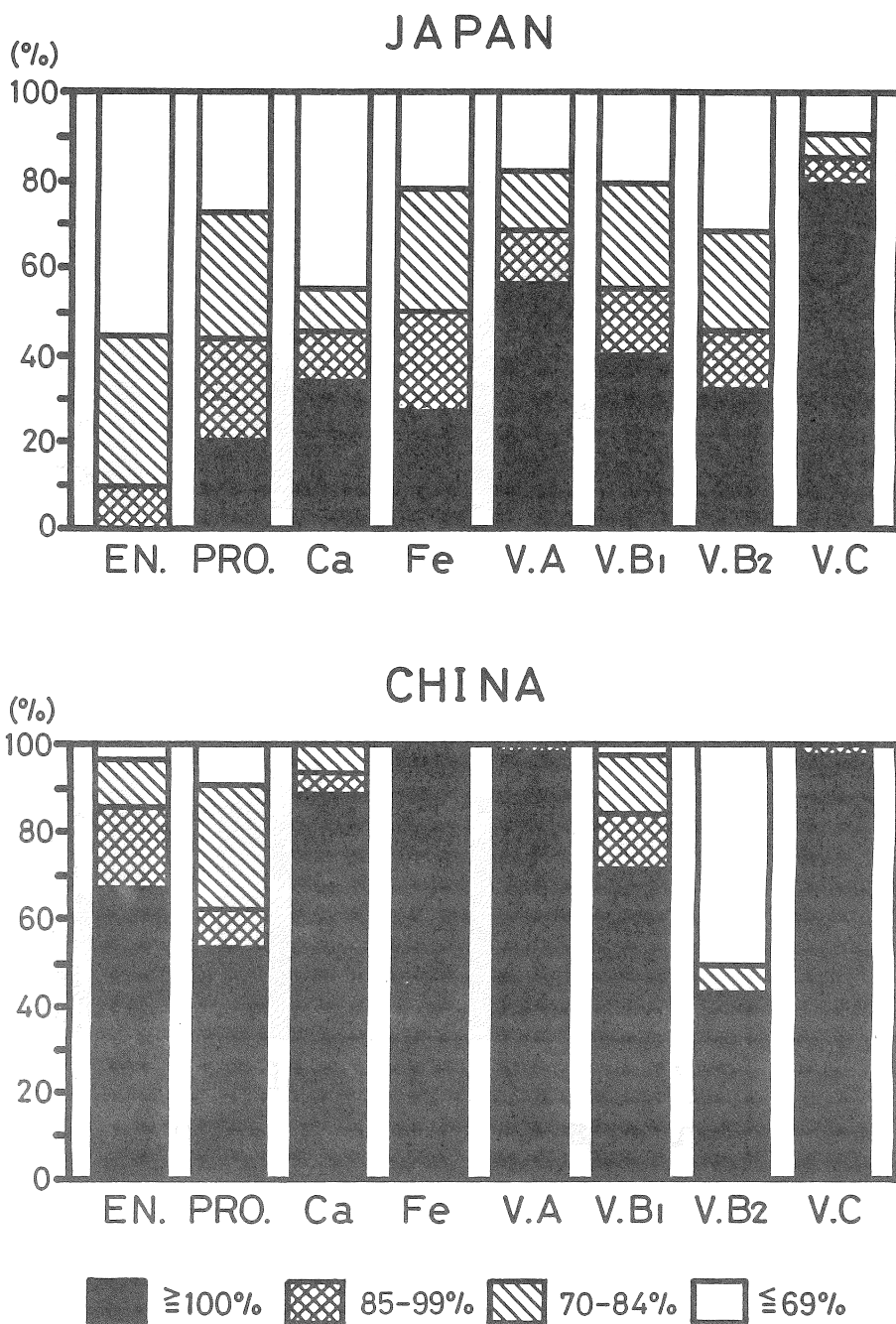


Fig. 4. Percentage distribution of daily nutrient intake in comparison with the nutrient amount required for level IV of activity in the Japanese recommended daily allowances.

THE STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SALT INTAKE AND EXERCISE

Yoshiharu Shimomura¹, Goro Okano², and Yuji Sato³

¹Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

²Department of Health and Physical Education, Sapporo Medical College

³Department of Health and Physical Education, Saitama College of Health

Summary

Many studies have been reported concerning the effect of salt intake on physiological functions. However, attention has been little payed on the relationship between salt intake and exercise. In the present study, the effects of exercise on mineral excretion in urine and on liver and muscle glycogen contents have been investigated in rats fed a low-salt diet or a high-salt diet.

As reported previously, calcium excretion in urine was greater in rats fed the high-salt diet than in the animals fed the low-salt diet. However, this effect of high-salt diet was not observed in rats trained by voluntary exercise, suggesting that exercise decreases the calcium excretion in urine by promoting calcium utilization in the body. The voluntary exercise activity was slightly higher in rats fed the high-salt diet than in the animals fed the low-salt diet. It has been reported that the tissue glycogen content is related with endurance physical performance. In this study, there is a trend that the glycogen content in liver was greater in exercised rats fed the high-salt diet than in the animals fed the low-salt diet. The glycogen content in soleus muscle appeared to be greater in sedentary rats fed the high-salt diet than in the animals fed the low-salt diet. Although further study is required to confirm these findings, it is suggested that salt intake affects glycogen metabolism in liver and muscle.

The nutritional levels and physical training requirements were surveyed in adolescent Japanese and Chinese athletes whose abilities were highly outstanding in track and field and basketball in their own country. As a result of comparison between two countries, the Japanese athletes was under the inferior conditions with respect to nutrient intakes and physical training requirements compared to the Chinese athletes. Interestingly, the salt intake was markedly low in the Chinese athletes than in the Japanese. Further study is required to clarify the relationship between salt intake and physical performance in these athletes.